UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS

CASE POSTALE 6128, STATION A, MONTRÉAL, QUÉBEC, H3C 3J7

UNE PROCEDURE POUR LE CALCUL DU TEMPS TOTAL DE PARCOURS D'UN TRAIN D'UN TERMINUS A L'AUTRE SUR UNE LIGNE DE CHEMIN DE FER A VOIE UNIQUE

par

Jorgen Elbrond

Université de Montréal
Publication # 68 - Centre de recherche sur les transports
Avril 1977

AVANT-PROPOS

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet multidisciplinaire du Centre de recherche sur les transports, sur l'utilisation du réseau ferroviaire actuel pour le transport des personnes dans la région de Montréal. Le texte de la partie théorique a été déposé en septembre 1976, et l'application à la ligne des Deux-Montagnes, en mars 1977.

Dans ses recherches sur la capacité d'une ligne de chemin de fer à voie unique, l'auteur a bénéficié de la collaboration de Jean-François Dubois, étudiant au Département d'Informatique.

Introduction

Une ligne de chemin de fer à voie unique est composée de blocs — les parties à voie unique — et de gares, qui séparent les blocs et qui sont à deux ou plusieurs voies, ce qui permet aux trains de s'arrêter sans gêne pour les autres trains, de se rencontrer et de se dépasser.

Le problème qui se pose est le calcul de la durée totale du parcours d'un train voyageant d'un terminus à l'autre, étant donné les arrêts imposés, les rencontres et les passages. Ce calcul doit être fait en fonction de la densité de trains, afin d'identifier la capacité de la ligne suivant certains critères, comme par exemple la durée des arrêts dépassant un certain niveau tolérable ou l'apport économique de l'équipement roulant et du personnel à bord des trains qui sont requis pour les divers niveaux de trafic considérés.

La présente procédure permet le calcul des délais causés par

1) les rencontres de trains

2) la clôture de bloc pour maintenance de la voie;

et donc la durée totale de voyage d'un train d'un terminus à l'autre en fonction de la densité de trains dans les deux directions.

La procédure a initialement été développée pour des cas avec des trains de vitesse assez uniforme entre eux et dans les deux directions, ainsi que des densités égales de trains dans les deux directions.

Dans l'étude du trafic ferroviaire urbain, il est important de connaître le

niveau de trafic à partir duquel les délais commencent à se faire sentir.

Composition du voyage

1. La durée totale du voyage d'un train d'un terminus à l'autre est composée de:

   1.1 Durée totale nette d'un voyage = $\sum_{i=1}^{N} TS_i$, où TS_i est la durée moyenne du passage du bloc i dans les deux directions par la vitesse permise et possible sans arrêts aux gares adjacentes. La durée est obtenue par calcul TPC (train performance calculator) ou par observation. On doit obtenir également l'écart-type de TS_i.

   1.2 Délais dûs aux rencontres. Fig.1. La durée d'un délai est composée des éléments suivants:

      1.2.1 Le délai produit par une décélération complète de la vitesse de voyage jusqu'à l'arrêt et une accélération complète de l'arrêt jusqu'à la vitesse de voyage. Ce délai est appelé le délai V. Il dépend de la condition de la gare (pente, courbe) où il se produit. La durée de ce délai peut être trouvée par observation ou par TPC.

      1.2.2 Le délai de signalisation. Au moment où un train pourrait reprendre sa marche après un arrêt, une durée de temps se déroule avant que les signaux aient été repositionnés et vérifiés.

      1.2.3 Le délai cédulé. Quand deux flux de trains se rencontrent, il y a un délai minimal par rencontre, à part du délai V et du délai de signalisation, causé par la presque impossibilité d'avoir la densité de trains et les durées de passage des

blocs en phase. Même dans ce cas idéal — durées de passages des blocs égales et dans les deux directions — il serait probablement imposé un délai cédulé pour un des trains. Le calcul de la longueur de ce délai se base sur des examens d'horaires. Il n'existe pas encore un modèle pour le délai minimal. Un essai se trouve dans {1} mais on y suppose que la rencontre fictive se ferait au milieu d'un bloc, ce qui amène à une surestimation de la longueur de ce délai. Des observations d'horaires indiquent que le délai cédulé est 0.5 à 2/3 du délai déduit dans {1}. Des recherches ont été entreprises afin de trouver la cédule optimale — celle qui produit des délais minimaux.

1.2.4 Le délai stochastique. Ce délai se produit quand les trains ne se rencontrent pas exactement suivant l'horaire. Il est causé par la variabilité des durées de passage des blocs ainsi que de l'intervalle, TA, entre les arrivées. Les délais stochastiques ne sont pas traités individuellement mais l'apport de chaque bloc basé sur leur taux d'occupation est intégré sur tous les blocs. {2}

1.3 Le délai de maintenance de la voie. La clôture d'un bloc pour maintenance cause un délai dont l'occurence est proportionnelle à la durée de la clôture par rapport à la durée entre clôtures. La longueur du délai est proportionnelle à la durée de la clôture. Dans le cas de vitesse réduite le délai sera inclus dans la durée de passage du bloc.

1.4 D'autres délais sont causés par

1.4.1 des pannes du matériel roulant. Ces délais sont traités par l'augmentation de la durée moyenne de passage des blocs et son écart-type.

1.4.2 des interruptions sur la ligne. Ces délais sont traités comme les délais causés par la maintenance de la voie.

1.4.3 des ralentissements dûs aux incidents sur la ligne. Ces délais sont traités comme les vitesses réduites sous 1.3.

Définitions

* indique des variables indépendantes ou paramètres dans le calcul.

N le nombre de blocs.

* TS_i la durée moyenne de passage du bloc i en minutes.

* FT la densité de trains en nombre moyen de trains par jour dans deux directions.

TA l'intervalle moyen entre les trains dans les deux directions.

* DS le délai de signalisation en minutes.

* DV le délai V = la somme du délai d'une décélération et d'une accélération complète en minutes.

* c_i facteur de correction dans la formule de file d'attente, pour bloc i.

Δ_i le délai stochastique produit par le bloc i.

DM le délai causé par la maintenance de la voie.

DC le délai cédulé.

* k le facteur du délai cédulé

* CM la durée de clôture pour maintenance en heures.

* FM la fréquence de clôture pour maintenance en nombre par jour.

R le nombre de rencontres d'un train lors de son voyage d'un terminus à l'autre.

TT la durée totale du voyage d'un train d'un terminus à l'autre.

c_i $\{(SS_i/TS_i)^2 + (SA/TA)^2\}/2 - B$

si $SS_i/TS_i + SA/TA \leq 1$, $B = (0.5 - CZ) \times SS_i/TS$

si $SS_i/TS_i + SA/TA > 1$, $B = (0.5 - CZ) \times (1 - SA/TA)$

si $c < 0$ mettre $c = 0$

CZ $= Z \times (1-\rho)/(\rho \times (1-Z))$

Z la racine entre 0 et 1 de l'équation $Z = \bar{e}^{(1-Z)/\rho}$

ρ le facteur d'utilisation

ρ $= TS_i/TA$

SS_i l'écart-type de TS_i

SA l'écart-type de TA

Procédure de calcul

$TA = (24 - CM \times FM)/FT$ en heures

$\Delta_i = TS_i^2/(TA \times 60/2 - TS_i) \times c$ en minutes

$R = 2 \times TT/TA$ (fig. 2)

$DC = k \times 1/2 \times \sum_i^N (TS_i/N)$ en minutes

$DM = CM \times FM/24 \times CM/2 \times 60$ en minutes (fig. 3)

$$TT = \sum_1^N TS_i + \sum_1^N {}_i + R/2 \times (DS + DV + DC) + DM \quad \text{en minutes}$$

Commentaires

La procédure décrite ci-dessus est simplifiée à certains points. Le calcul des délais stochastiques peut exiger un examen plus profond de l'extension possible de l'occupation d'un bloc par un train en décélération ou en accélération. L'effet de priorité de certains trains sur d'autres n'est pas inclus directement dans la procédure. Il sera l'objet d'une recherche sur

l'établissement de la cédule optimale. En première approximation, il est toutefois possible de distribuer la somme des délais suivant une échelle de priorité, car il est connu qu'une règle de priorité n'augmente guère la somme des délais. L'effet de différentes vitesses est en partie inclus dans la formule pour le délai stochastique par le facteur de correction, qui en soi est une fonction de la variabilité de la durée de passage des blocs.

La procédure inclut toutefois les paramètres importants.

Exemple de l'application de la procédure de calcul

TS_i	FT	CM	FM = 0.8 par jour
	trains/jour	heures	DS = 2 min.
25 min.	2	0	DV = 5 min.
20 "	4	0	C = 0.1
30 "	6	2	k = 0.5
35 "	8	2.5	
20 "	10	3	
40 "	12	3.5	
30 "			
35 "			
20 "			
$\sum_{1}^{N} TS_i = 255$ "			

Le résultat sous forme de la durée du voyage d'un train d'un terminus à l'autre en fonction de la densité de trains est donné sur la figure 4.

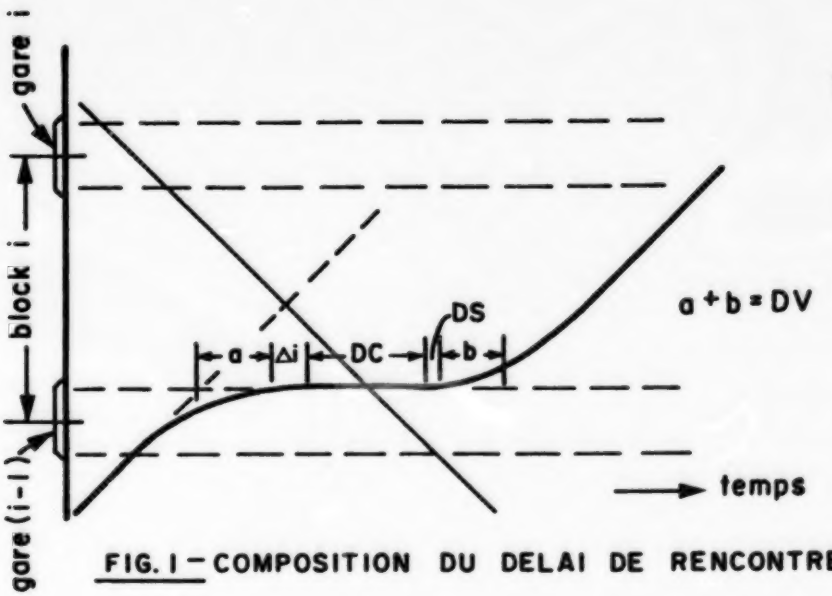

FIG. 1 – COMPOSITION DU DELAI DE RENCONTRE.

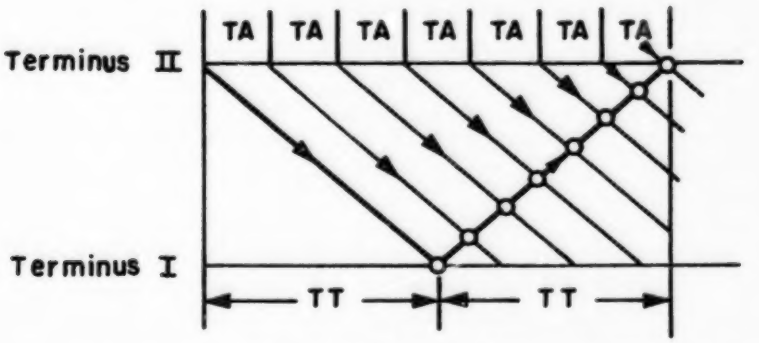

FIG. 2 – NOMBRE DE RENCONTRES LORS D'UN VOYAGE

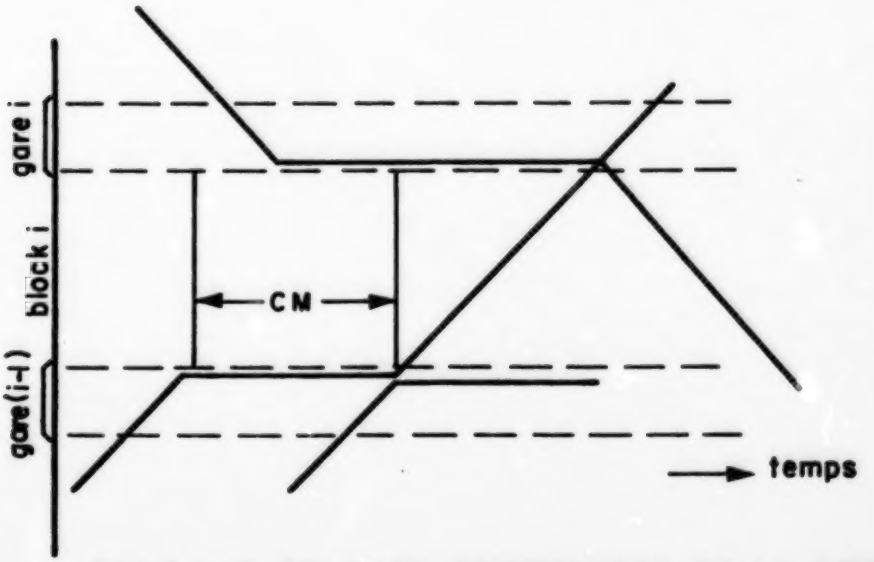

FIG. 3 – LE DELAI DE MAINTENANCE DE LA VOIE.

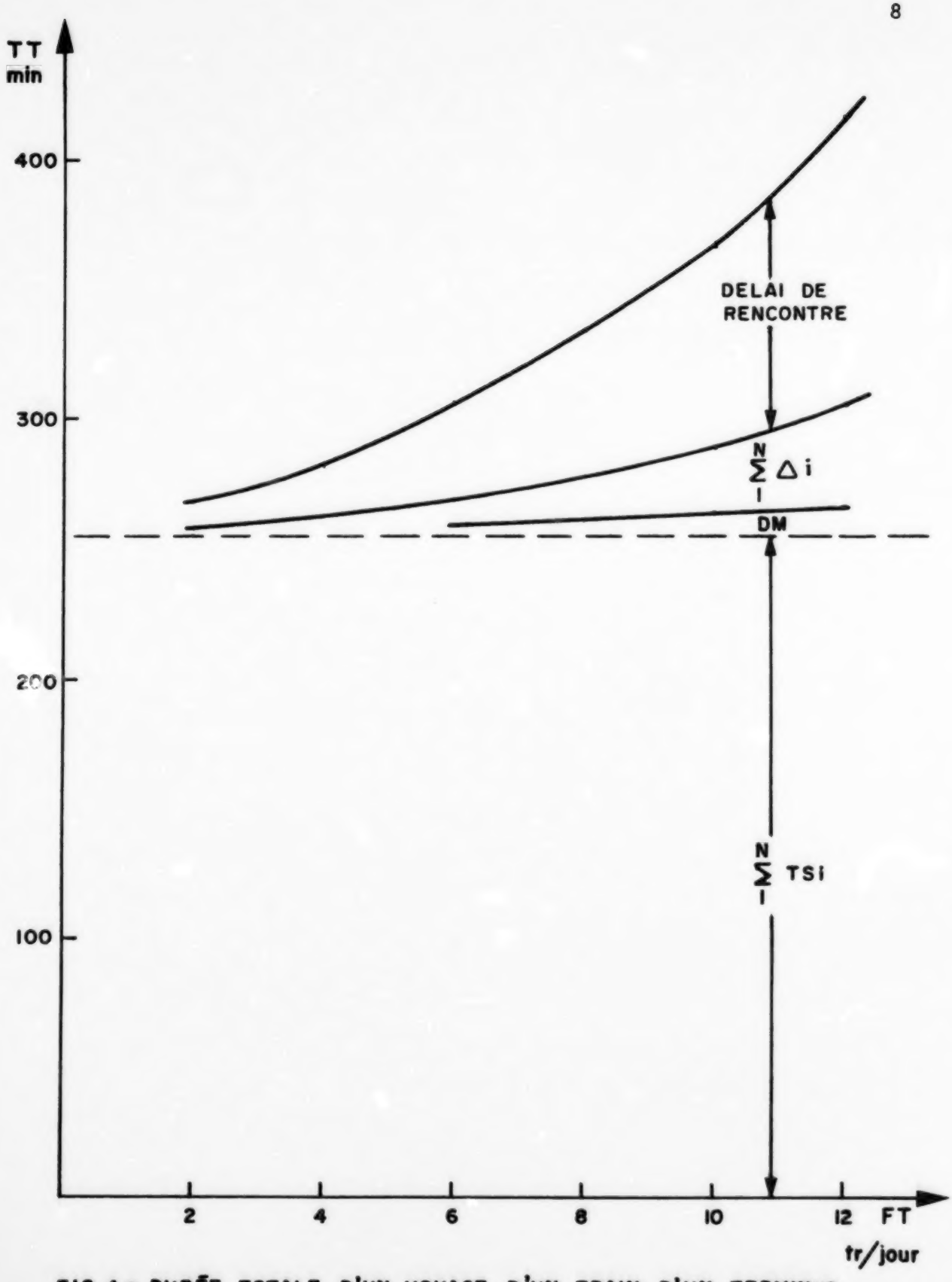

FIG. 4 – DURÉE TOTALE D'UN VOYAGE D'UN TRAIN D'UN TERMINUS À L'AUTRE.

REFERENCES

{1} E.R. Peterson: Over-the-Road Transit Time for a Single Track Railroad. Aug. 1971, Working Paper Series No. 71-4, Queens University, Kingston, Canada.

{2} J. Elbrond and E.A. da Costa: Single Line Rail Traffic, Oct. 1970, Operations Research Symposium, Sao Paulo, Brasil.

ANNEXE I

DENSITE DE TRAINS ENTRE LA GARE CENTRALE ET DEUX-MONTAGNES

Le système ferroviaire entre la Gare Centrale et Deux-Montagnes a été examiné afin de trouver

1) la densité de trains
2) la distance minimale entre deux trains consécutifs dans la même direction sur la partie à double voie entre la Gare Centrale et Val-Royal
3) les "headways"* des blocs de la partie à voie unique de Val-Royal à Deux-Montagnes.

La connaissance de ces grandeurs permettra de calculer le niveau présent d'utilisation des blocs et d'estimer l'augmentation de l'utilisation qui est possible sans nuire à la qualité du service qui, puisqu'il s'agit d'une ligne de passagers, consiste à maintenir l'horaire. Cette dernière estimation doit se faire avec une réserve en ce qui concerne les exigences probables sur le système de signalisation, le passage des routes, etc.

Durant la période étudiée (entre octobre 1975 et avril 1976), on enregistre les caractéristiques suivantes:

1) 38 trains dans chaque direction entre la Gare Centrale et Val-Royal
2) 9 à 10 trains durant 100 minutes de période de pointe entre la Gare Centrale et Val-Royal: une densité de 1 train/10 minutes

---

* "headway" est la somme de la durée de temps requis par un train pour franchir le bloc d'une gare A à la gare suivante B et la durée de temps requis par un autre train dans la direction opposée pour passer de B à A, quand ce train quitte la gare B immédiatement après l'arrivée à la gare B du train venant de A.

3) 20 trains dans chaque direction entre Val-Royal et Deux-Montagnes

4) 1 train par heure dans chaque direction, dans un espacement assez régulier, entre Val-Royal et Deux-Montagnes

5) la distance minimale observée entre deux trains consécutifs dans la même direction était 6 minutes = 1.8 mille.

6) la configuration du "headway" entre Val-Royal et Deux-Montagnes est la suivante:

Gares	"headway" minutes
Val-Royal	
	8
Saraguay	
	11
Roxboro	
	20
Des Prairies	
	11
Deux-Montagnes	

La densité possible entre la Gare Centrale et Val-Royal est de 1 train par 7-8 minutes, donc une augmentation d'environ 50%.

La densité possible entre Val-Royal et Deux-Montagnes est de 2 trains par heure, donc une augmentation de 100%.

Ces estimations sont basées sur les vitesses présentes. Les estimations seraient à reprendre si l'on connaît les effets d'améliorations éventuelles sur les vitesse des trains.

Montréal, le 2 juin 1976

Jorgen Elbrond

ANNEXE II

CALCUL DES DUREES DE VOYAGE ENTRE LA GARE CENTRALE ET LA NOUVELLE GARE DES DEUX-MONTAGNES

La ligne entre la Gare Centrale et la nouvelle Gare des Deux-Montagnes est composée d'une partie à voie double entre la Gare Centrale et la nouvelle Gare Bois-Francs et d'une partie à voie unique entre Bois-Francs et Deux-Montagnes. Cette dernière partie est composée de 4 blocs avec 3 gares intermédiaires permettant des rencontres: Saraguay II, Roxboro et Des Prairies.

Le calcul utilise la procédure décrite dans "Une procédure pour le calcul du temps total de parcours d'un train d'un terminus à l'autre sur une ligne de chemin de fer à voie unique", (sept. 76) pour la partie entre Bois-Francs et Deux-Montagnes.

Deux densités de trains: 2 et 3 trains par heure, ont été examinées. Les durées calculées réfèrent donc aux heures de pointe.

Comme nous ne disposons pas d'un calcul détaillé de parcours net, les durées entre gares ont été obtenues en assumant des vitesses moyennes.

Le calcul établit la durée de voyage net, les attentes stochastiques et de rencontre ainsi que la durée totale du voyage.

Les résultats sont:

Densité de trains	Durée de voyage entre la Gare Centrale et Deux-Montagnes
3 /heures	45.2 min
2 /heures	41.1 min

Les calculs sont donnés ci-après.

Montréal, le 14 mars 1977

	Gares	milles	Vitesses: milles par heure	durées en minutes	Arrêts nombre	Arrêts durée min.	Durée de parcours min.
	Deux-Montagnes, DM						
Voie unique	Des Prairies, DP	3.15	35	5.4	1	1	6.4
" "	Roxboro , RB	2.60	35	4.5	1	1	5.5
" "	Saraguay II , SII	2.65	35	4.6	1	1	5.6
" "	Bois-Francs, BF	3.20	35	5.5	1	1	6.5
Voie double	Gare Centrale, GC	6.90	40	10.2	3	1	13.2

Partie à voie unique

Gares	TS min	WQ TA = 10 min	WQ TA = 15 min
DM			
DP	6.4	11.4	4.8
RB	5.5	6.7	3.2
SII	5.6	7.1	3.4
BF	6.5	12.1	5.0
$\sum$	24.0	37.3	16.4
		xC(=0.15) = 5.6 min	xC(=0.15) = 2.5 min

TA = 10 min

$$TT = 24.0 + 5.6 + \frac{2x32.0}{2 \times 10} \times \tfrac{1}{2} \times 0.3 \times 5 = 32.0 \text{ min}$$

TA = 15 min

$$TT = 24.0 + 2.5 + \frac{2x27.9}{2 \times 15} \times \tfrac{1}{2} \times 0.3 \times 5 = 27.9 \text{ min}$$

Entre GC et DM

3 trains/h

TT = 32.0 + 13.2 = 45.2 min

2 trains/h

TT = 27.9 + 13.2 = 41.1 min